

# Analisa Data Seismisitas Menggunakan Metode Maximum Likelihood Untuk Mitigasi Gempabumi Kota Sibolga

Retno Agung Prasetyo<sup>1</sup>, Amir Hamzah<sup>2</sup>, Said Muzambiq<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BMKG Balai Besar Wilayah I, Jln. Ngumban Surbakti 15 Medan, Telp. 061-8222877

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Geologi Institut Teknologi Medan, Jln. Arca No 52 Medan, Telp. 061-7363771

e-mail: r.agungpk@gmail.com<sup>1</sup>; amir.h.sitinjak@gmail.com<sup>2</sup>; muzambiq@itm.ac.id<sup>3</sup>

## Abstrak

Kota Sibolga termasuk salah satu kota yang padat penduduk yaitu 8.033 Jiwa/ Km<sup>2</sup>. Wilayahnya termasuk pesisir pantai barat Sumatera dekat dengan zona pertemuan lempeng Eurasia dan lempeng Indo Australia. Analisa tingkat seismisitas dalam rangka memitigasi bencana gempabumi yaitu dengan menghitung variasi nilai *a* dan nilai *b*, menghitung periode ulang gempabumi dan bagaimana hubungan tingkat kegempaan di wilayah tersebut dengan kondisi geologi Kota Sibolga. Data yang digunakan dalam analisa ini bersumber dari IRIS dan BMKG periode 1971-2016 dengan magnitudo 0-10 pada kedalaman 0-300 km. Dalam analisa ini penulis membagi menjadi 2 segmen berdasarkan distribusi episenter. Untuk segment I pada titik koordinat 1°2'00" - 2°1'00" LU dan 97°8'00" - 98°45'00" BT, Untuk segment II pada titik koordinat 1°2'00" - 2°1'00" LU dan 98°45'00" - 99°1'00" BT. Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode Maximum Likelihood yang dibantu dengan software ZMAP 6.0. Pada Segment I diperoleh nilai *a* antara 4.8 – 5.05 dan *b* sebesar 0.68-0.73, periode ulang gempa bumi untuk rentang *M* 4-5 yaitu 0,6-0,8 tahun, *M* 5-6 yaitu 3-4 tahun, *M* 6-7 yaitu 10-20 tahun. Pada Segment II diperoleh nilai *a* antara 3,4 – 3,6 dan *b* sebesar 0.35-0.395, periode ulang gempa bumi untuk rentang magnitudo *M* 4-5 yaitu 1 – 1,5 tahun, rentang *M* 5-6 yaitu 5 tahun dan rentang *M* 6-7 30 – 40 tahun. Jika dibandingkan antara dua segment, maka variasi *a* dan *b* segment I lebih tinggi yaitu *a* 4,7 dan *b* 0,656. Kota sibolga terdiri dari dua batuan yaitu granit sibolga dan batupasir formasi barus. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa wilayah analisa memiliki tingkat seismisitas tinggi dan rawan bencana gempa bumi yang dibuktikan dengan periode ulang gempa bumi yang singkat yaitu kurang dari 40 tahun dan sering terjadi gempa-gempa kecil baik di daratan maupun lautan.

**Kata kunci** : tingkat seismisitas, periode ulang gempa bumi, Kota Sibolga, geologi.

## Abstract

*Sibolga including one of the main cities is densely populated with a population density figure of 8033 people / km<sup>2</sup>. This area includes the west coast of Sumatera and close to convergence zone between Eurasia plate and into-Australia plate. Analysis of seismicity especially in earthquake-prone areas like Sibolga City is indispensable in order to reduce the impact caused by the earthquake disaster. In this context, an analysis which aims to analyze the level of seismicity in order to mitigate the earthquake disaster is to calculate the variation of the *a* and *b* values, calculate the return period of earthquakes and how the relationship between the level of seismicity in the region with geological conditions Sibolga City. The data used obtained from the IRIS and BMKG in the period from 1971 to 2016 with a magnitude of 0 to 10.0 at a depth of 0-300 km. In this analysis, the author divides into two segments based on the distribution of the epicenter. For the first segment at coordinates 1 ° 2'00 " - 2 ° 1'00" N and 97 ° 8'00 " - 98 ° 45'00" E, for segment II at coordinates 1 ° 2'00 " - 2 ° 1'00 " N and 98 ° 45'00" - 99 ° 1'00 " BT. Based on the analysis using the Maximum Likelihood method aided with software ZMAP 6.0. In Segment I, obtained a value of between 4.8 - 5.05 and the *b* of 0.68-0.73, the return period earthquake's magnitude range 0.6-0.8 is 4-5 years, *M* 5-6 is 3-4 years, the range of *M* 6- 7 is 10-20 years. In Segment, II obtained a value between 3.4 to 3.6 and *b* of 0.35-0.395, the return period magnitude earthquake to 4-5 is 1 - 1.5 years, *M* 5-6 is 5 years and *M* 6- 7 is 30-40 years. If the comparison between the two segments, variations *A* and *B* segment I was more pronounced, *a* 4.7 and *b* 0,656. Kota Sibolga consists of two rocks are granite and sandstone formations Sibolga balls. In general, it can be concluded that the analysis region has a high level of seismicity and earthquake-prone as evidenced by the return period of earthquakes short, less than 40 years and frequent minor earthquakes both on land and sea.*

**Keywords:** *levels of seismicity, the return period earthquake, Sibolga, geology*

## 1. PENDAHULUAN

Bencana alam gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihentikan kejadiannya, namun bahaya dan resiko yang diakibatkan oleh gempa bumi dapat dihindari dan dikurangi (mitigasi). Setiap tahun bumi digoncang oleh lebih dari 10 gempa bumi dengan magnitudo besar yang banyak menelan korban jiwa, merusak bangunan dan infrastruktur serta menjadi bencana alam yang menimbulkan dampak negatif terhadap perekonomian dan sosial pada daerah di sekitar gempa bumi terjadi [1]. Sumatera berada pada batas konvergen antara dua lempeng yaitu lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Pergerakan dip-slip terjadi pada sepanjang zona subduksi Sumatera (*megathrust*), yaitu akibat penunjaman samudera Hindia (bagian dari lempeng Indo-Australia) di bawah Sumatera (bagian dari lempeng Eurasia). Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah Utara-Timur laut dan mendorong lempeng Eurasia dengan kecepatan 5 cm/tahun [2]–[4]. Monitoring gempa bumi menjadi sangat penting dilakukan, mengingat kondisi Indonesia yang rawan terhadap gempa bumi dan tsunami. Monitoring gempa bumi dilakukan dengan jaringan seismik di Indonesia. Jaringan seismik di Indonesia berperan aktif untuk penentuan parameter gempa bumi. Untuk itu perlunya evaluasi jaringan seismik di Indonesia, khususnya di Pulau Sumatera [5]–[8].

Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Sibolga [9], luas kota Sibolga adalah 10,77 KM<sup>2</sup> dengan sensus jumlah penduduk oleh BPS pada tahun 2016 adalah sebanyak 86519 jiwa. Melihat kondisi tersebut, Kota Sibolga bisa dikatakan kota yang padat penduduk dengan angka kepadatan penduduk 8.033 Jiwa/ Km<sup>2</sup>. Melihat catatan gempa bumi yang terjadi di Sumatera yang diperoleh dari BMKG seperti gempa Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 dengan kekuatan 9,3 SR yang menimbulkan tsunami sehingga 173.741 jiwa meninggal dan 116.368 orang dinyatakan hilang. Selanjutnya adalah Gempa Nias pada tanggal 28 Maret 2005 dengan magnitudo 8.6. Gempa-gempa tersebut memang terjadi di daerah dimana letak titik episentrumnya. Namun, akibat gempa tersebut daerah-daerah lain pasti akan merasakan dampaknya terkhusus untuk daerah Sibolga yang padat penduduknya dan pembangunan infrastruktur yang semakin meningkat disana. Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara statistik tingkat keaktifan gempa bumi di wilayah Sibolga dan sekitarnya dengan menggunakan metode Maximum Likelihood dan Software Zmap 6.0 [10]–[12] dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kegempaan, mengetahui periode ulang gempa bumi Kota Sibolga dan sekitarnya dan memberikan gambaran mitigasi gempa bumi di Kota Sibolga. Dengan dilakukannya penelitian ini, maka dampak dari gempa bumi dapat diantisipasi, baik dampak moril dan materil.

## 2. METODE PENELITIAN

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang setelah melalui proses manual atau non manual akan menjadi data bacaan fase. Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan, dan analisa sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi tersebut meliputi, waktu kejadian gempa bumi, Lokasi episenter, Kedalaman sumber gempa bumi, Kekuatan gempa bumi dan Intensitas gempa bumi. Magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa berdasarkan energi yang dilepaskan di hiposenter. Konsep magnitudo gempa bumi sebagai skala kekuatan relatif hasil dari pengukuran fase amplitude. Magnitudo dikemukakan pertama kali oleh K.Wadati dan C.Richter sekitar tahun 1930 .

Kekuatan gempa bumi dinyatakan dalam besaran magnitudo dalam skala logaritma basis 10. Suatu nilai magnitudo diperoleh sebagai hasil analisis tipe gelombang seismik tertentu (berupa rekaman getaran tanah yang tercatat paling besar) dengan memperhitungkan koreksi jarak stasiun pencatat ke episenter. Sejarah metode Maksimum Likelihood pertama kali dikemukakan oleh R. A. Fisher (1890–1962) [11], [12]. Harga parameter  $a$  dan  $b$  dapat dihitung dengan menggunakan Metode Maksimum likelihood. Fungsi likelihood merupakan fungsi dari parameter model statistik, yang didefinisikan sebagai berikut: likelihood dari suatu penentuan nilai parameter ditentukan suatu hasil yang diamati adalah sama dengan probabilitas dari hasil pengamatan yang ditentukan nilai parameter tersebut [13], [14]. Dari hubungan ini diperoleh bahwa estimasi maksimum likelihood dari  $b$  yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$b = \frac{\log e}{M - M_0} \quad (1)$$

dimana:  $M$  : Magnitudo rata-rata dari data gempa  
 $M_0$  : Magnitudo minimum dari data gempa  
 $\log e$  : 0,4343  
 $b$  : Nilai konstanta yang berhubungan dengan kerapuhan batuan

Selanjutnya untuk memperoleh estimasi maksimum likelihood nilai  $a$  yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$a = \log N(M \geq M_0) + \log(b \ln 10) + M_0 b \quad (2)$$

Dimana  $N$  : Jumlah kumulatif data yang digunakan  
 $M$ : Magnitudo rata-rata dari data gempabumi  
 $b$  : Nilai konstanta yang berhubungan dengan kerapuhan batuan

Nilai  $a$  merupakan konstanta dari persamaan linier dengan hubungan frekuensi dan magnitudo dari Gutenberg-Richter yaitu  $\log N = a - bM$ . Nilai ini menunjukkan keaktifan seismik. Keaktifan seismik juga dipengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan dan nilai ini tergantung dari Periode pengamatan, Luas daerah pengamatan, dan Seismisitas di daerah tersebut. Makin besar nilai  $a$  di suatu daerah berarti daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi, sebaliknya untuk nilai  $a$  yang kecil berarti aktivitas seismiknya rendah. Nilai  $b$  merupakan konstanta dari persamaan Gutenberg - Richter mengenai hubungan frekuensi dan magnitudo yaitu  $\log N = a - bM$ . Dilihat dari bentuk persamaannya, maka nilai  $b$  menunjukkan kemiringan atau gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. Nilai ini erat sekali hubungannya dengan tektonik wilayah dan sifat batuan setempat, nilai  $b$  dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan, makin besar nilai  $b$  berarti makin besar pula tingkat kerapuhan batuanya.

## 2.1 Hubungan Frekuensi dengan Magnitude

Rumus umum yang banyak dipergunakan untuk tujuan ini berasal dari rumus empiris yang diturunkan oleh B. Gutenberg dan C.F. Richter [15] adalah sebagai berikut:

$$\log N(M) = a - bM \quad (3)$$

dimana :  $N$  : Frekuensi gempa  
 $M$  : Magnitudo  
 $a, b$  : Konstanta

## 2.2 Periode Ulang Gempa

Dengan cara statistik yang ada, gempabumi yang pernah terjadi di suatu daerah tertentu dapat diperkirakan kapan waktu terjadinya gempa dengan kekuatan yang sama akan terulang lagi, sehingga dapat ditekan sekecil mungkin kerusakan yang mungkin terjadi. Untuk mendapatkan rata-rata periode ulang gempa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\theta_{M \geq M_0} = \frac{1}{(N_1 M \geq M_0)} \quad (4)$$

dengan :  $\theta (M \geq M_0)$  : Periode ulang gempa untuk magnitudo  $M \geq M_0$   
 $N_1 (M \geq M_0)$  : Indeks seismisitas untuk magnitudo  $M \geq M_0$

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode langsung dan metode tidak langsung. Metode langsung merupakan metode dengan cara survei langsung ke lapangan untuk mengumpulkan data-data lapangan, seperti pengambilan data kondisi geologi daerah pemetaan (litologi, morfologi dan struktur geologi). Metode tidak langsung merupakan metode yang menggunakan data yang diperoleh secara tidak langsung seperti data dari *Incorporated Research Institutions For Seismology* (IRIS) [2].

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian tentang analisa tingkat seismisitas dan periode ulang gempabumi di Kota Sibolga dilakukan dengan menggunakan metode Maksimum Likelihood yang dibantu dengan menggunakan software Z-MAP 6.0. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Tahap persiapan: Tahap studi persiapan ini merupakan tahapan awal dari pemetaan, pada tahap ini perlengkapan pemetaan serta data-data sekunder dikumpulkan dan dipelajari, yaitu berupa peta-peta daerah pemetaan baik peta topografi dan peta geologi daerah penelitian.
- 2) Tahap pengambilan data: Pengambilan data terbagi atas dua yaitu pengambilan data ke lapangan dan pengambilan data ke instansi terkait. Pengambilan data ke institusi di ambil dari *Incorporated Research Institutions for Seismology* (IRIS) yaitu berupa data seismisitas dari tahun 1971-2016.
- 3) Tahap studio merupakan tahap yang dilakukan di laboratorium yaitu pembuatan peta – peta dengan menggunakan Software Map Info 10.0, Arc Map 10.2, ZMAP 2006 dan Matlab 2008. Peta – peta yang dibuat antara lain peta stasiun pengamatan, peta geologi, peta morfologi dan peta topografi.
- 4) Tahap pengolahan data gempa dengan tahapan:
  - a) Menentukan daerah penelitian dengan dibatasi oleh lintang dan bujur secara geografis, penelitian dilakukan tidak terbatas pada wilayah Sibolga, namun mendekati hingga Pulau Nias, dan agak meluas disekitaran wilayah tersebut mengingat sering terjadi gempabumi diluar wilayah Pulau Nias namun dirasakan di Kota Sibolga.
  - b) Mengklasifikasikan data tersebut berdasarkan segmen, dalam pembahasan ini penulis membagi menjadi 2 segmen berdasarkan distribusi episenter. Untuk segment I pada titik koordinat  $1^{\circ}2'00''$  -  $2^{\circ}1'00''$  LU dan  $97^{\circ}8'00''$  -  $98^{\circ}45'00''$  BT. Untuk segment II pada titik koordinat  $1^{\circ}2'00''$  -  $2^{\circ}1'00''$  LU dan  $98^{\circ}45'00''$  -  $99^{\circ}1'00''$  BT.
  - c) *Declustering* data gempa dengan menggunakan program *ZMap* [6] dan penggunaan magnitudo *completeness* untuk menghilangkan gempa susulan (*aftershock*) agar diperoleh data yang baik.
  - d) Menghitung nilai *a* dan *b* dengan mengolah data gempabumi menggunakan rumus metode *Maximum Likelihood*.
  - e) Mencari nilai indeks seismisitas dan periode ulang gempabumi.
  - f) Pemetaan dengan menggunakan software ArcMap untuk memetakan distribusi gempabumi.
- 5) Tahap Analisa dan Interpretasi: Tahap ini prinsipnya untuk menjelaskan bagaimana cara menganalisa data yang diperoleh dari survei lapangan maupun dari institusi, pekerjaan studio dianalisa merujuk kepada referensi untuk mendapatkan tujuan :
  - a) Kondisi geologi daerah penelitian.
  - b) Intensitas gempabumi.
  - c) Mitigasi gempabumi Kota Sibolga dan sekitarnya.

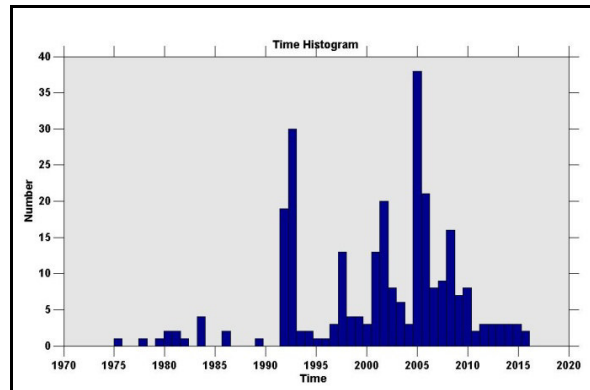
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah yang akan ditentukan tingkat keaktifan gempa dan periode ulang gempanya adalah Kota Sibolga dan sekitarnya dengan titik koordinat  $1^{\circ}2'00''$  -  $2^{\circ}1'00''$  LU dan  $97^{\circ}8'00''$  -  $99^{\circ}1'00''$  BT. Pada wilayah penelitian terdapat 716 *event* gempa, kemudian setelah dilakukan *declustering* maka jumlah gempa utama menjadi 699 *event*.

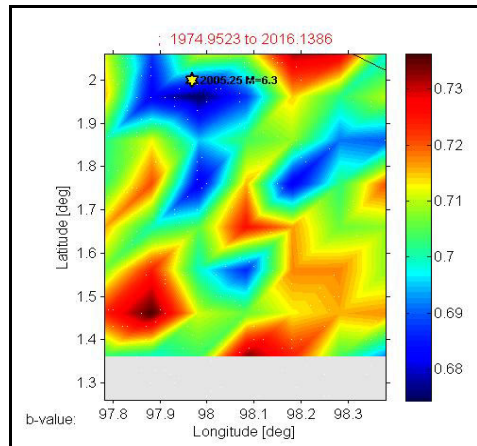
#### 3.1 Hasil Segmen I

Segmen 1 berada pada titik koordinat  $1^{\circ}2'00''$  -  $2^{\circ}1'00''$  LU dan  $97^{\circ}8'00''$  -  $98^{\circ}44'00''$  BT. Pada wilayah ini terdapat 273 event gempa yang terekam dari tahun 1971 hingga bulan April 2016. Pada segment ini gempa yang terjadi didominasi oleh gempabumi dengan magnitudo 4 dengan frekuensi 68 kali dalam periode 1971 hingga april 2016. Gempabumi yang terjadi pada umumnya didominasi oleh gempa-gempa dangkal (<60 Km) dengan persentase  $\pm 75\%$  dari total keseluruhan *event* gempa pada segmen1. Gempabumi yang terjadi pada segmen I banyak terjadi pada tahun 1993 sebanyak 38 kali dan pada tahun 2005 sebanyak 29 kali seperti yang terlihat pada gambar 1. Variasi nilai-b segment I berkisar antara 0.68 hingga 0.73 seperti yang terlihat pada gambar 2. Nilai b 0.68 – 0.7 merupakan nilai yang rendah, artinya tingkat stress atau kerapuhan batuan segmen 1 relatif tinggi,

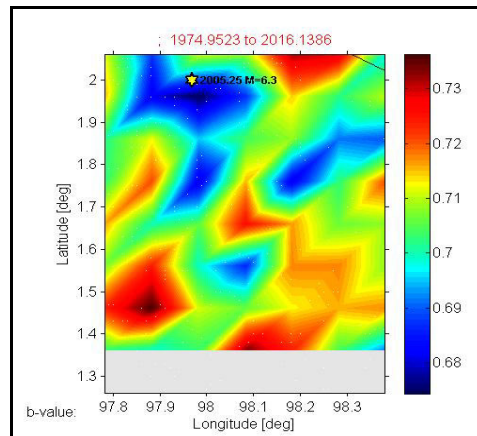
ini dipengaruhi oleh batuan sedimen yang tersedimentasi didasar laut. Variasi nilai-a di Kota Sibolga sekitarnya berkisar antara 4.8 – 5.05 seperti yang terlihat pada gambar 3.



**Gambar 1.** Time histogram segment 1



**Gambar 2.** Variasi *b-value* segmen 1 dengan nilai 0.68-0.73



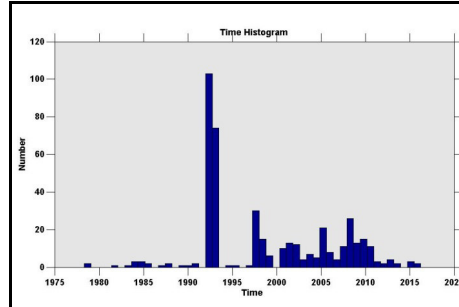
**Gambar 3.** Variasi *a-value* segmen 1 dengan nilai 4.8-5.05

Tabel 1: Hasil periode ulang gempabumi segmen I

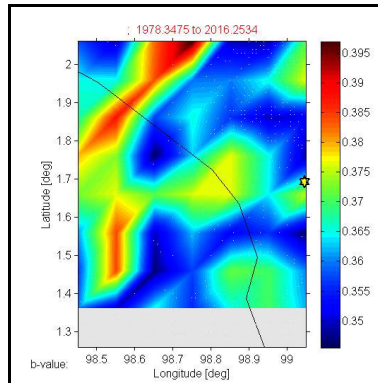
No	Magnitudo	Tahun	Hari
1	$M \geq 4$	0.6 – 0.8	219 - 292
2	$M \geq 5$	3 - 4	1095 - 1460
3	$M \geq 6$	10 - 20	3650 - 7300

### 3.2 Hasil Segmen II

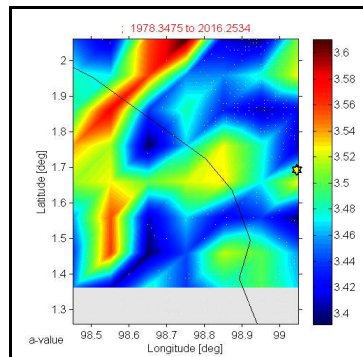
Segment II berada pada titik koordinat  $1^{\circ}2'00''$  -  $2^{\circ}1'00''$  LU dan  $97^{\circ}44'00''$  -  $99^{\circ}1'00''$  BT. Pada wilayah ini terdapat 426 event gempabumi yang terekam dari tahun 1971 hingga bulan April 2016. Pada segment II, gempa yang terjadi didominasi oleh gempabumi dengan magnitudo 2-2,5 dengan frekuensi 115 kali dalam periode 1971 hingga april 2016. Frekuensi gempabumi yang terjadi pada umumnya hampir seimbang antara gempa dangkal dengan gempa menengah, namun frekuensi gempa tertinggi terjadi pada gempa dangkal dengan kedalaman 1-5 km. Gempabumi yang terjadi pada segment II banyak terjadi pada tahun 1993 sebanyak 102 kali dan pada tahun 1994 sebanyak 68 kali, seperti yang terlihat pada gambar 4. Variasi nilai-b pada segmen II berkisar antara 0.35 hingga 0.395 seperti yang terlihat pada gambar 5. Variasi nilai-a pada segment II berkisar antara 3,4 – 3,6 seperti yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 4. Time histogram segmen II



Gambar 5 . Variasi *b-value* segmen II dengan nilai 0.35-0.395



Gambar 6. Variasi *a-value* segmen II dengan nilai 3.4 – 3.6

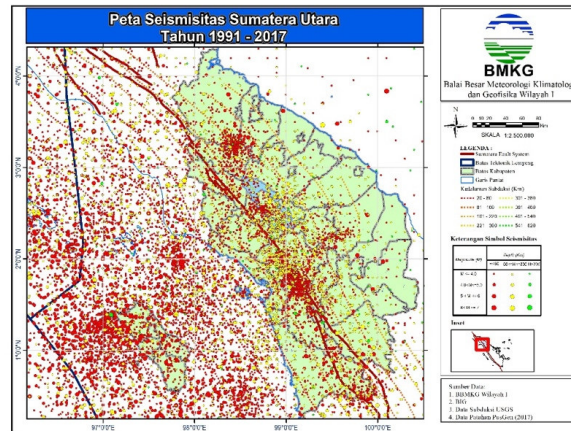
Jika dibandingkan antara dua segmen, maka variasi nilai a dan b segmen I lebih tinggi yaitu a 4,7 dan b 0,656. Artinya tingkat seismisitas dan stress segmen satu relatif lebih tinggi. Namun demikian karena tingginya tingkat seismisitas pada segmen satu, maka magnitudonya akan kecil karena seringnya melepaskan energi sehingga tidak terjadinya penumpukan energi untuk gempa yang



lebih besar. Selanjutnya dilakukan analisa periode ulang gempa bumi. Dalam penelitian ini, Untuk hasil periode ulang gempa bumi segment II yang dilakukan menggunakan software zmap 6.0 dengan hasil yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil periode ulang gempa bumi pada segmen II

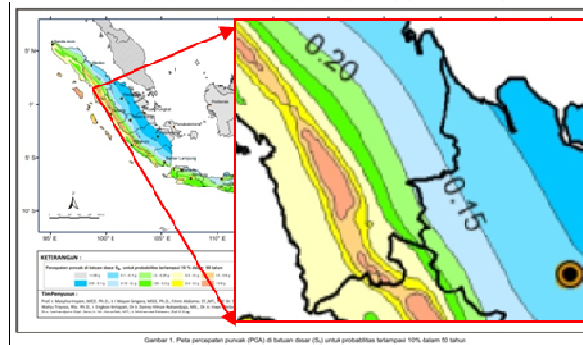
No	Magnitudo	Tahun	Hari
1	$M \geq 4$	1 – 1,5	365 - 547
2	$M \geq 5$	5	1825
3	$M \geq 6$	30 - 40	10950 - 14600



Gambar 7. Peta Plot Seismisita

### 3.3 Gambaran Mitigasi Bencana Gempabumi

Mitigasi merupakan rangkaian kegiatan bersifat preventif, dalam upaya memberikan informasi awal terkait meminimalisir kemungkinan bencana alam gempa bumi yang akan terjadi, Untuk hal tersebut telah dilakukan analisa seismisitas terkait dengan gempa bumi. Hasil analisis yang telah dilakukan pengolahan data, tingkat kegempaanannya sangat tinggi dengan nilai  $b$  0,7 – 0,85 dan nilai  $a$  5,4-6, itu merupakan nilai yang tinggi dan artinya tingkat seismisitas diwilayah tersebut juga tinggi dengan periode ulang tercepat pada magnitudo 4 yaitu 219 hari. Berdasarkan data yang diperoleh dari Peta Zonasi Gempa Indonesia Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010, Kota Sibolga berada pada percepatan puncak dibatuan dasar 0.3g – 0.4g (sebagaimana terlihat pada gambar 8, nilai tersebut merupakan klasifikasi nilai gaya berat (g) yang tinggi >0.30g.



Gambar 8. Peta zonasi gempa Indonesia Kementerian Pekerjaan Umum, 2010

Data Intensitas gempabumi yang tinggi akan memperkecil kemungkinan terjadinya gempa-gempa besar. Dari hasil kajian dan pembahasan, bahwa kerawanan bencana gempabumi di Kota Sibolga karena kondisi lahan yang secara geologi terbangun dari jenis batuan beku yaitu satuan granit sibolga (Mpisl) dan batupasir (Tmba), dengan morfologi didominasi oleh morfologi perbukitan lereng curam dan keberadaan dekat dengan zona sesar dengan intensitas gempabumi yang tinggi di wilayah Sibolga.

Melihat kondisi diatas, perlu dilakukan langkah-langkah antisipasi mitigasi ke depan bencana gempabumi di Kota Sibolga untuk mengurangi dampak sosial dan materil, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Memasang rambu-rambu peringatan bahaya dan larangan di wilayah rawan bencana.
- b) Mengembangkan sumberdaya manusia satuan pelaksana.
- c) Mengadakan pelatihan penanggulangan bencana kepada masyarakat di wilayah rawan bencana.
- d) Mengadakan penyuluhan atas upaya peningkatan kewaspadaan masyarakat di wilayah rawan bencana.
- e) Menyiapkan tempat penampungan sementara di jalur-jalur evakuasi jika terjadi bencana.
- f) Memindahkan masyarakat yang berada di wilayah rawan bencana ke tempat yang aman.
- g) Membuat bangunan ramah gempabumi.
- h) Membentuk pos-pos siaga bencana.
- i) Menyiapkan sistem peringatan dini.

### 3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian para ahli, nilai-b yang rendah memberikan korelasi pada tingkat stress yang tinggi, sedangkan nilai b yang tinggi akan berkorelasi sebaliknya. Hal ini juga dinyatakan oleh Sholz (1968) yaitu, bahwa nilai-b memiliki hubungan yang jelas terhadap stress di dalam suatu volume batuan. Nilai b segmen I adalah 0.68 – 0.7 merupakan nilai yang rendah, artinya tingkat kerapuhan batuan segmen I relatif tinggi, ini dipengaruhi oleh batuan sedimen yang mengendap didasar laut. Nilai a erat kaitannya dengan tingkat seismisitas. Semakin tinggi nilai-a maka semakin tinggi pula tingkat seismisitasnya. Variasi nilai-a di daerah penelitian berkisar antara 4.8 – 5.05, itu artinya tingkat seismisitas di wilayah tersebut relatif tinggi karena dipengaruhi oleh penunjaman lempeng samudera indo-australia kebawah lempeng benua eurasia.

Nilai b segmen II adalah 0.35 hingga 0.395 merupakan nilai yang rendah, artinya tingkat stress atau kerapuhan batuan segmen II relatif tinggi. Jika melihat peta geologi lembar Sidimpun-Sibolga [7] yang didominasi oleh batuan sedimen seperti endapan alluvial muda (Qh), alluvial tua (Qp), batupasir formasi barus (Tmba) dan endapan gunung api piroklastik tufa toba (Qvt). Variasi nilai-a pada segmen II berkisar antara 3,4 – 3,6. Nilai ini erat kaitannya dengan tingkat seismisitas. Semakin tinggi nilai-a maka semakin tinggi tingkat seismisitasnya. Itu artinya, tingkat seismisitas segmen II relatif tinggi karena secara geologi dipengaruhi oleh sesar Sumatera fault System (SFS) yang berada diutaranya yang selalu bergerak setiap tahun. Melihat dari periode ulang gempabumi pada wilayah penelitian, gempa-gempa dengan magnitudo 4 -6 relatif sering terjadi pada segmen I dibandingkan dengan segmen II seperti yang terlihat pada tabel 4.1 dan 4.2 diatas. Berdasarkan data tersebut, segmen I tingkat seismisitas sangat tinggi. Kondisi batuan wilayah penelitian relatif kurang kompak, itu ditunjukkan dengan tingkat seismisitas daerah penelitian relatif tinggi, dengan periode ulang tercepat ialah 219 hari. Artinya, wilayah penelitian sangat rentan mengalami guncangan gempa, itu disebabkan oleh penunjaman lempeng samudera indo-australia kebawah lempeng benua eurasa yang terus berjalan hingga saat ini.

Tabel 3. Periode ulang gempabumi segmen I

No	Magnitudo	Tahun	Hari
1	$M \geq 4$	0.6 – 0.8	219 - 292
2	$M \geq 5$	3 - 4	1095 - 1460
3	$M \geq 6$	10 - 20	3650 - 7300

Tabel 4. Periode ulang gempabumi segmen II

No	Magnitudo	Tahun	Hari
1	$M \geq 4$	1 – 1,5	365 – 547
2	$M \geq 5$	5	1825
3	$M \geq 6$	30 - 40	10950 – 14600



#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini, menunjukkan pada Segmen I memiliki aktifitas seismik yang tinggi, dimana sering terjadi gempa – gempa dangkal hingga menengah dengan magnitudo 4. Pada segmen I dominan dipengaruhi oleh Subdaksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia yang terus berlangsung hingga saat ini. Pada Segmen II memiliki aktifitas seismik yang tinggi namun lebih kecil dari segmen I, dimana sering terjadi gempa – gempa menengah dengan magnitudo dominan 2.5. Pada segmen II dominan dipengaruhi oleh *Sumatera Fault System* yang terus berlangsung hingga saat ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Sulastri, D., Jusmi, “Devi Sulastri, Fitri Jusmi \* Program Studi Fisika, Fakultas Sains, Universitas Cokroaminoto Palopo \* Email:,” *J. Din.*, vol. 09, no. percepatan tanah, pp. 38–47, 2018.
- [2] M. Chlieh, J. P. Avouac, K. Sieh, D. H. Natawidjaja, and J. Galetzka, “Heterogeneous coupling of the Sumatran megathrust constrained by geodetic and paleogeodetic measurements,” *J. Geophys. Res. Solid Earth*, vol. 113, no. 5, May 2008.
- [3] K. Sieh, *The Sunda megathrust: past, present and future.* .
- [4] “Lempeng Indo-Australia - Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas.” [Online]. Available: [https://id.wikipedia.org/wiki/Lempeng\\_Indo-Australia](https://id.wikipedia.org/wiki/Lempeng_Indo-Australia). [Accessed: 21-Jan-2020].
- [5] H. Rumapea, M. Sinambela, and S. Sitepu, “The Power Spectral Density Based on Waveform Analysis for Computing Noise Level The Power Spectral Density Based on Waveform Analysis for Computing Noise Level,” 2019.
- [6] M. Ula, E. Darnila, P. Siagian, L. Siagian, Peristiwanto, and M. Sinambela, “Machine learning on waveform spectral analysis of nuclear explosion from broadband seismic station in Indonesia,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, no. 1, 2018.
- [7] E. Darnila, M. Ula, K. Tarigan, T. Limbong, and M. Sinambela, “Waveform analysis of broadband seismic station using machine learning Python based on Morlet wavelet,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 420, no. 1, 2018.
- [8] K. Tarigan, M. Sinambela, A. T. Simanullang, H. Sunandar, and S. B. Sinaga, “The Characteristics Influence of The Seismic Signal Noise Using Spectral Analysis,” *J. Phys. Conf. Ser.*, 2018.
- [9] “Badan Pusat Statistik Kota Sibolga.” [Online]. Available: <https://sibolgakota.bps.go.id/>. [Accessed: 21-Jan-2020].
- [10] F. Purnamasari *et al.*, “SEMANGKO PROVINSI LAMPUNG MENGGUNAKAN METODE MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION ( MJHD ),” 2018.
- [11] L. Royani and Madlazim, “Studi Tentang Estimasi Awal Terjadinya Gempa Bumi Menggunakan Metode B-Value dan Z-Value,” *Inov. Fis. Indones.*, vol. 06, pp. 97–103, 2017.
- [12] R. Imani, “SEISMIC PATTERN BASED ON ANALYSIS OF FRACTAL VARIATIONS BEFORE THE 2009 SUMATRA EARTHQUAKE WITH ZMAP SOFTWARE,” vol. 4, no. 1, 2019.
- [13] I. J. Myung, “Tutorial on maximum likelihood estimation,” *J. Math. Psychol.*, vol. 47, no. 1, pp. 90–100, 2003.
- [14] D. P. Schwallie, “Positive definite maximum likelihood covariance estimators,” *Econ. Lett.*, vol. 17, no. 1–2, pp. 115–117, 1985.
- [15] B. Gutenberg and C. F. Richter, “Magnitude and energy of earthquakes,” *Ann. Geophys.*, vol. 53, no. 1, pp. 7–12, 2010.